

# Utvärdering av ett lastredessystem för att effektivisera virkeslogistiken vid avlägg

*Evaluation of a load carrier system for increased efficiency in timber logistics*

Tobias Alm



# Utvärdering av ett lastredessystem för att effektivisera virkeslogistiken vid avlägg

Evaluation of a load carrier system for increased efficiency in timber logistics

*Tobias Alm*

**Handledare:** Gunnar Svensson, Skogforsk  
**Ämnesgranskare:** Anders Eriksson, institutionen för energi och teknik, SLU  
**Examinator:** Åke Nordberg, institutionen för energi och teknik, SLU

**Omfattning:** 15 hp  
**Nivå, fördjupning och ämne:** Avancerad nivå, A1N, teknik  
**Kurstitel:** Projektarbete i energisystem  
**Kurskod:** TE0012  
**Program/utbildning:** Civilingenjörsprogrammet i energisystem 300 hp

**Utgivningsort:** Uppsala  
**Utgivningsår:** 2016  
**Serietitel:** Projektarbete i energisystem, institutionen för energi och teknik, SLU  
**Delnummer i serien:** 2016:1  
**Elektronisk publicering:** <http://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** bioenergi, virkeshantering, lastrede, logistik, systemsimulering

Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap  
Institutionen för energi och teknik



## Abstract

Today's conventional forestry looks for solutions to bring down handling time of the wood from the forest to the industry. For a timber truck is the handling time depended on the following factors: the actual driving time, crane loading and unloading at the industry. In today's conventional system, much time is spent by the forwarder first to unloading all material at the landing zone and then later for the timber truck to load the same material, both operations requiring crane movement. To bring down this handling time, and create a more rational system, a carrier has been developed which the forwarder can load in the forest and then place loaded at the landing. The timber truck can then back under the carriers and drive away.

A machine system using the carrier was modeled and simulated using discrete-event simulation in a program called ExtendSim to study system behavior in different environments. This proposed system was compared with the conventional system and also with a mix of the two.

The results from the simulations show a small potential for improvements by introducing the proposed system using a carrier in the forest. The system had some niches where it proved better with regard to total handling time than the conventional system. The proposed system using carriers can give a decreased total handling time, around 7% improvements can be found. On the other hand, the total handling time can also be higher if that system is unbalanced with too much unnecessarily waiting time. This potential occurred when the road distance, from the Industry to the landing, is between 50-100 km.

In a comparison with all simulated scenarios the mixed system was the most efficient with regard to the total handling time. The mixed system had overall a lower waiting time than the proposed carrier system. For road distance between 50-200 km the total handling time decreased with 3-6 % compared to the conventional system.

## Sammanfattning

Dagens konventionella skogsbruk söker efter lösningar för att få ner hanteringstiden av virket ifrån skogen till industrin. För en timmerbil utgörs dess vändatid av följande faktorer: Den faktiska körtiden, kranlastningen av material vid avlägg samt lossning vid industri. I dagens drivningssystem går en stor del av tiden åt till att, för skotaren kranlasta av material vid avlägg samt för timmerbilen att kranlasta på samma material. För att få ner hanteringstiden, samt skapa ett mer rationellt system, har det tagits fram ett lastrede som skotaren kan fylla i skogen och sedan ställa av på avlägget. En lastbil kan därefter lasta på dessa genom att backa in under dem och sedan köra iväg.

Syftet med projektet är att, med hjälp av simulering, undersöka om det finns en potential att få ner hanteringstiden av virket genom användning av växlingsbara lastreden vid skotning och vägtransport av virket ifrån skogen.

Den uppbyggda modellen består utav en representation av tänkta maskinsystem samt 10 trakter av lika storlek och mängd virke. Tre olika scenarier kan köras vilka involverar dagens system, det föreslagna systemet baserat på lastreden samt en kombination av dem. En simuleringskörning innebär att allt virke levereras till industrin.

Resultaten av simuleringarna visade att det fanns en potential för en tidsvinst vid användningen av lastreden. Lastredessystemet kan ge en minskning på den totala maskintiden. I bästa fall kan minskningen uppgå till 7 %, jämfört med dagens system. Där tidsvinsten fanns låg lastbilens köravstånd, mellan industrin och avlägget, i intervallet mellan 50-100km.

Vid jämförelsen mellan de tre scenarierna så framkom det att det mixade systemet var det mest effektiva. Detta på grund av att väntetiderna som uppkom för lastredessystemet nästan helt eliminerades och tidsvinsten med lastredessystemet gjorde att det mixade systemet var mest tidseffektivt. För lastbilens köravstånd mellan 50-200 km kan den totala maskintiden minskas med 3-6 % jämfört med dagens system.

## Innehåll

1 Inledning .....	1
1.1 Bakgrund .....	1
1.2 Syfte .....	2
1.3 Mål .....	2
1.4 Avgränsningar .....	2
2 Metod och material .....	3
2.1 Systembeskrivning - Lastreden (LR) .....	4
2.2 Modell av systemet.....	5
2.2.1 Konventionell virkeshantering (Lösskotning).....	6
2.2.2 Lastrede (LR) .....	7
2.2.3 Mixat system.....	8
2.3 Indata .....	9
2.4 Försöksdesign.....	11
2.5 Validering av modellen .....	11
4 Resultat .....	13
4.1 Påverkan av storleken på trakt och volym virke per ha i Scenario LR .....	13
4.2 Påverkan av antalet LR och olika köravstånd. Scenario LR .....	14
4.3 Jämförelse mellan scenario LR, Mix och Lösskotning .....	15
4.4 Resultat för simuleringar vid olika avstånd.....	17
5 Diskussion .....	20
6 Slutsatser.....	21
7 Referenser.....	22





# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Dagens konventionella skogsbruk söker efter lösningar för att få ner hanteringstiden av virket ifrån skogen till industrin. För en timmerbil utgörs dess vändatid av följande faktorer: Den faktiska körtiden, kranlastningen av material vid avlägg samt lossning vid industri. I dagens drivningssystem går en stor del av tiden åt till att, för skotaren kranlasta av material vid avlägg samt för timmerbilen att kranlasta på samma material. För att få ner denna hanteringstid, samt skapa ett mer rationellt system, har det tagits fram ett lastrede (nedan kallad LR) som skotaren kan fylla i skogen och sedan ställas av på avlägget för att sedan låta en lastbil backa in under för att lasta på dem. Därmed slipper skotaren och lastbilen lasta av och på virket med kran.

Det har utförts fältförsök för tekniken där hanteringen av LR har testats. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) och Skogforsk har därefter tagit fram en simuleringsmodell för systemet. I modellen kan potentialen för användningen av LR simuleras för att visa på hur det tänkta systemet fungerar i olika situationer. Modellen använder sig av händelsestyrd simulering. Det innebär att simuleringen styrs enbart av väl definierade händelser som ändrar systemets tillstånd. Simuleringen hoppar mellan dessa händelser utifrån en förutbestämd exekveringslista. Simuleringsmetoden fungerar väl när flera system ska jämföras samt är användbar då system har komponenter som interagerar med varandra (Krahl, 2013; Banks *et al.*, 2010).

Simuleringsmetoden valdes därför att det blir mycket billigare än att testa systemet i stor skala ute i fält. Då LR-systemet inte används i dagens skogsbruk skulle det bli mycket dyrt och komplicerat att testa systemet. Dessutom kan olika alternativ simuleras och testas i samma miljö.

En tidigare studie på LR är gjord av Asikainen (Asikainen *et al.*, 2013). Skillnaden mellan den studien och den här är att i denna kommer lastbilen stå för transporten av tomma LR mellan olika trakter medan i Asikainens modell kör skotaren de tomma LR. Dessutom görs simuleringar på ett mixat system mellan LR och det konventionella systemet.

Ett LR-system tillhör kategorin "Heta-system", där ingående maskiner beror av varandra. I ett LR-system kan det uppkomma väntetider för skotaren och lastbilen. Det kan jämföras med dagens konventionella system, som är ett "kallt" system, där det inte finns något beroende mellan skotare och timmerbil. Idag finns en buffert mellan dessa båda operationer i form av avlägget för virke vid trakten. För att försöka minska maskinberoendet i LR-systemet tillkom idén om det mixade systemet. Där är tanken att väntetiden tas bort för skotaren genom möjligheten att skota konventionellt då inte tomma LR finns tillgängliga.

Fältförsök med användning av LR har utförts av universitet i München (Freitag *et al.*, 2012). Där upptäcktes en del problem men också några fördelar. Bland annat behöver avlägget vara av mycket gott skick och vara helt plant för att LR ska kunna stå bra och för att lastbilen enkelt ska kunna backa in under LR. Dock påvisas vid dessa försök att när på- och avlastningen av LR fungerar så finns det en tidsvinst att hämta i denna del av logistikkedjan.

I ett examensarbete av H. Pålsson har användningen av LR studerats. Där inkluderades de på skördaren och kostnaderna för hanteringen av LR togs upp (Pålsson, H. 2015).

## 1.2 Syfte

Syftet med projektet är att, med hjälp av simulering, undersöka om det finns en potential för att få ner hanteringstiden av virket vid användning av fristående LR vid skotning och transport av virket ifrån skogen.

## 1.3 Mål

Det övergripande målet med projektarbetet är att utveckla och validera, den av Skogforsk och SLU, framtagna modellen för lastredessystemet. Ytterligare mål med projektet är att undersöka vilka parametrar som är viktiga för lastredessystemet samt visa om potential för tidsbesparingar finns. Ett ytterligare mål är att undersöka hanteringstiden av virket i tre olika scenarion: bara LR, bara konventionellt och en mix av de båda.

## 1.4 Avgränsningar

Det finns flera sätt att bygga upp modellen över hur logistiken på Lastredessystemet ska se ut. I detta arbete har ett valts ut. Se nedan i kap 2.2.

Projektet är avgränsat till att undersöka tidsåtgången för olika maskiner och maskinaktiviteter i systemet och tar inte hänsyn till kostnader.

## 2 Metod och material

För att uppnå det övergripande målet med att validera modellen och det underliggande målet att identifiera möjlig potential för lastredessystemet har följande genomförandeplan används.

- Studier utav bakgrundsinformation
  - Litteraturstudie av tänkt LR-system
  - Beskrivningar av tidigare utförda fältförsök
  - Inläring av simuleringsprogramvaran
- Utveckla och validera modellen
  - Skapa flödesscheman över logistiken för virket och maskinerna samt diskutera dessa med personer insatta i det tänkta systemet
  - Undersöka indatabehov samt ta fram rimliga värden på indata
  - Utföra testsimuleringar med visualisering som hjälpmedel för att validera flödena i modellen
  - Utvärdera testsimuleringarna med avseende på utdata
- Hitta LR potential
  - Utveckla en försöksdesign samt bestämma vilka parametrar som ska varieras
  - Utförande av simulering
  - Resultatsammanställning
  - Analys och tolkning av resultat

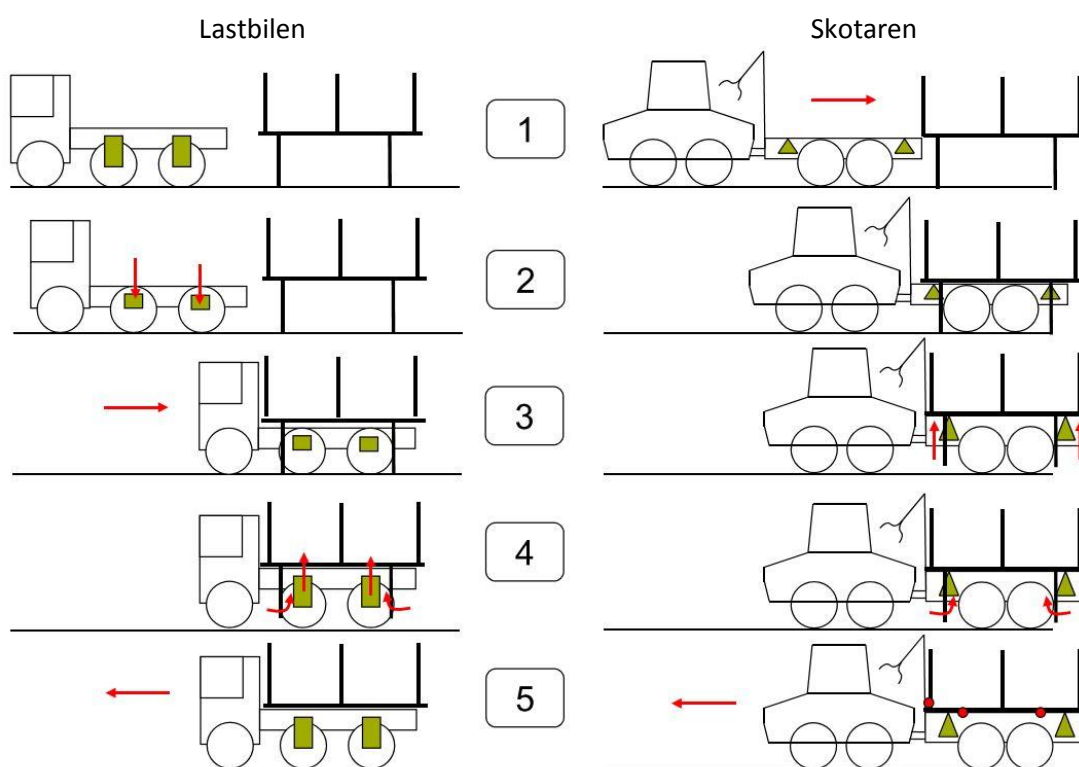
## 2.1 Systembeskrivning - Lastreden (LR)

Som tidigare nämnts ska ett system som använder LR utvärderas. Den typ av LR som används ser ut som på figur 1. Lastredet är försedd med avtagbara ben som avlägsnas innan körning av skotaren och lastbilen.



Figur 1, En fullt lastad LR (Freitag et al., 2012).

Pålastningen utav LR på lastbilen och skotaren sker enligt figur 2. Avlastningen sker i omvänd ordning.



Figur 2, Schematisk bild utav lastningen av LR på lastbil och skotare (Freitag et al., 2012). 1-5 beskriver arbetsordningen. Skotare till höger och lastbil till vänster.

Både lastbilen och skotaren använder sig utav ett hydrauliksystem för att höja och sänka sitt "flak" för att kunna komma in under lastredet. Hydrauliksystemet visas i bilden som de gröna rektanglarna och trianglarna. På rad fem har benen tagits bort ifrån Lastredet för att skotaren och Lastbilen ska kunna köra iväg.

Bilden i figur 2 visar hur lastbilen lastar på en LR. I det tänkta systemet som ska studeras har lastbilen även ett släp där två stycken LR får plats. Tre olika hanteringssystem ska studeras: konventionell hantering av virket (lösskotning och transport med timmerbil ifrån avlägg), skotning med LR och transport med lastbil, samt ett tredje scenario där en mix av båda systemen används.

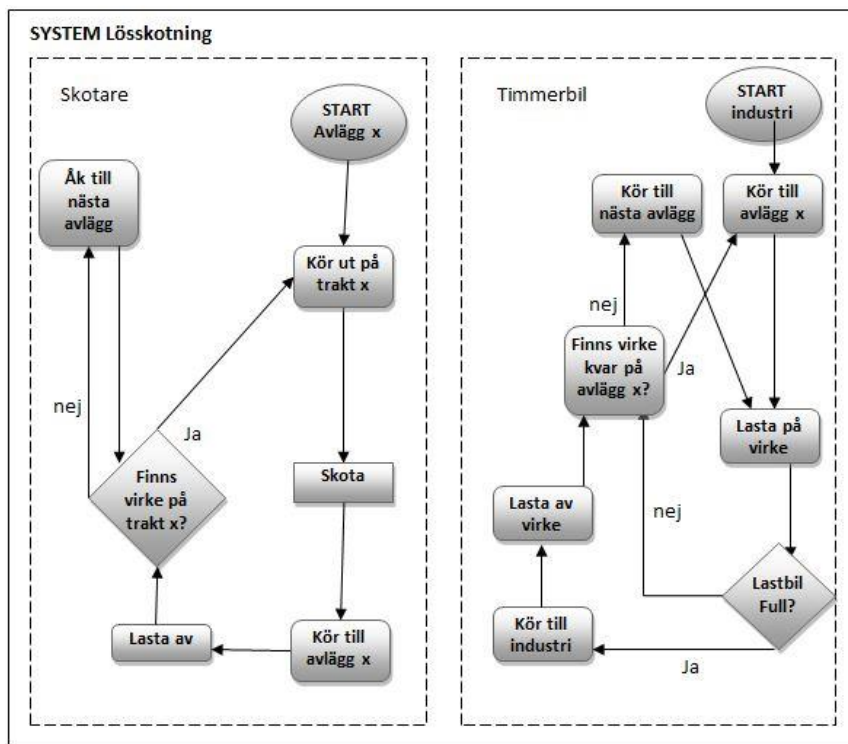
## 2.2 Modell av systemet

Modellen av händelseförloppet för hanteringen av virket är uppbyggd i simuleringsprogrammet ExtendSim. Programmet är ett händelsestyrt simuleringsverktyg där händelserna bestäms av matematiska funktioner och logiken i modellen (Krahl, 2013; Banks *et al.*, 2010). Modellen utgör en flödesbeskrivning för virket från tio trakter till en mottagande industri. Det tänkta maskinsystemet flyttas mellan dessa trakter. Virkesflödet i de olika alternativen som studerats beskrivs närmare i kap 2.2.1, 2.2.2 och 2.2.3. I modellen sätts indata för alla aktiviteter och processer som specificeras nedan i kap 2.3. En försöksdesign har gjorts, där vissa faktorer varierats, för att hitta var potentialen för LR kan finnas. Försöksdesignen beskrivs nedan i kap 2.4.

Programmet loggar händelsernas processtid och samlar tiderna i en Excelfil. Resultatet från simuleringarna beror på hur modellens logik är programmerad och vilka parametrar som är satta vid just den simuleringen.

### 2.2.1 Konventionell virkeshantering (Lösskotning)

Vid modellens simuleringsstart är skotaren placerad vid det första avlägget. Därifrån kör skotaren ut på den första trakten och skotar virket. När skotarlasset är fullt kör den tillbaka till avlägget och kranlastar av sitt lass. Skotaren upprepar detta tills det inte finns något virke kvar på den aktuella trakten. Därefter körs skotaren till nästa avlägg och påbörjar sedan skotningen där. Parallellt kommer det en timmerbil till avlägget och kranlastar på virket. När timmerbilen är fullastad eller det inte finns något virke kvar kör den till en mottagande industri där virket sedan lastas av med hjälp av en terminalkran. Timmerbilen upprepar detta så länge det finns virke att hämta ute vid avlägget. När timmerbilen är klar med det första avlägget fortsätter den till nästa avlägg och lastar på virket som finns där. Simuleringen tar slut när skotaren inte har något kvar att skota på det tionde avlägget och den har förflyttat sig till ett fiktivt elfte avlägg och timmerbilen har levererat allt virke till industrin. Nedan finns ett flödesschema (figur 4) för ingående maskiner i scenariot för konventionell hantering av virket.

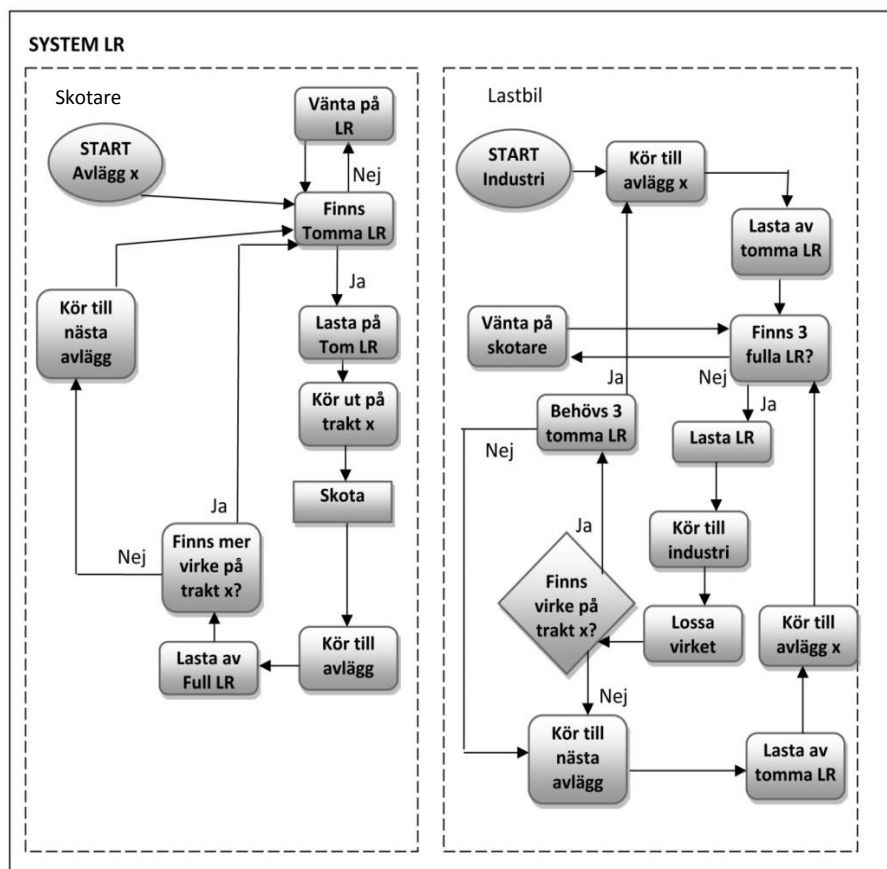


Figur 4, Schematisk bild över flödet för skotare och timmerbil i det konventionella systemet.

## 2.2.2 Lastrede (LR)

Vid starten av simuleringen finns skotaren vid ett avlägg. Skotaren börjar med att lasta på en LR och kör sedan ut på trakten. Skotaren kör sedan tills den fyllt hela LR och därefter kör den tillbaka till avlägget. Vid avlägget ställer skotaren av LR och lastar sedan på en ny tom LR för en ny tur ut på trakten. Skotaren upprepar detta så länge det finns virke och tomma LR på den aktuella trakten. Finns inga tomma LR men virke kvar väntar skotaren på att lastbilen kommer med nya tomma LR. De fyllda LR ställs upp i rader. När inget virke finns kvar kör skotaren till nästa avlägg och påbörjar sedan skotningen där, ifall det finns tomma LR att tillgå.

Lastbilen som kommer till det första avlägget börjar med att ställa av tre tomma LR, därefter backar den in under två stycken fyllda LR och kopplar fast dem på släpet. Därefter kopplas släpet loss och lastbilen backar sedan in under en fylld LR. Släpet kopplas på igen och lastbilen kör sedan virket till en mottagande industri. Finns inte redan fyllda LR måste lastbilen vänta på att skotaren levererar tillräckligt många fyllda. Vid industrin lastas virket av med hjälp av en terminalkran och lastbilen kan sedan kör tillbaks till avlägget för en ny vända. När lastbilen fått indikation att tomma LR inte behövs på det första avlägget åker den istället till nästa avlägg och lastar av sina tomma LR. Därefter åker lastbilen tillbaks till det föregående avlägget och hämtar de sista fyllda LR och kör sedan dessa till industrin. Simuleringen av modellen tar slut när skotaren inte har något kvar att skota på det tionde avlägget och den har förflyttat sig till ett fiktivt elfte avlägg och att lastbilen har levererat allt virke till industrin.

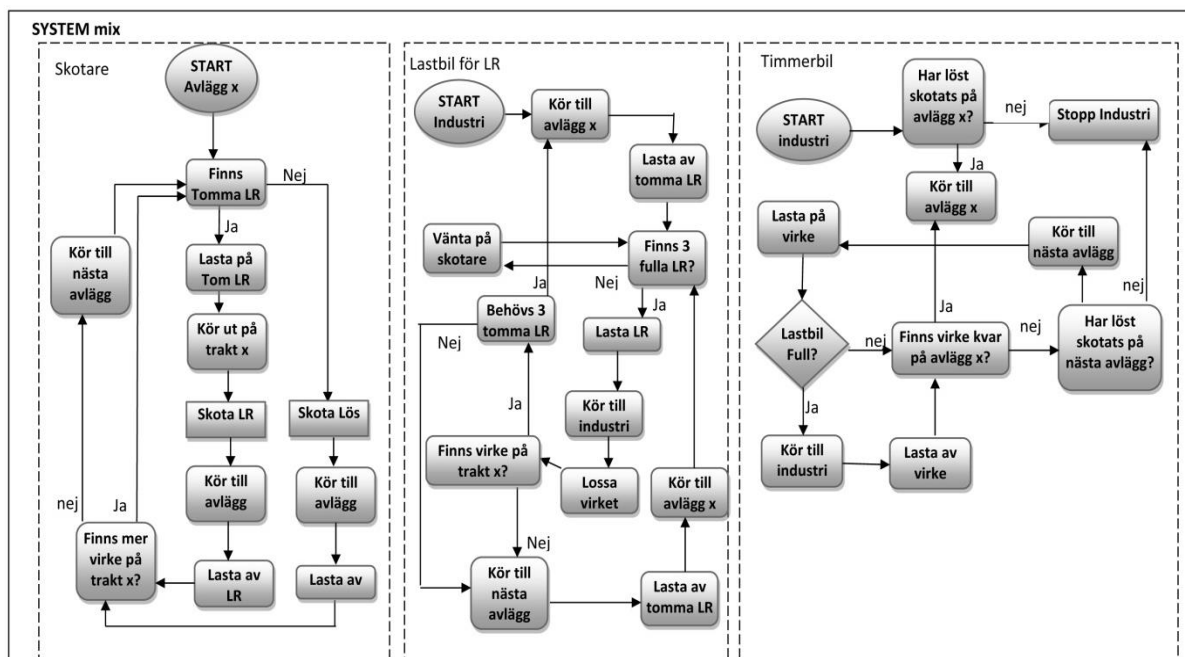


Figur 5, Schematisk bild över flödet i det mixade systemet med en lastredesförsedd skotare och lastbilen som transporterar virket ifrån avlägget till industrin.

### 2.2.3 Mixat system

Vid starten av simuleringen finns skotaren vid ett avlägg tillsammans med tre tomma LR. Skotaren börjar med att lasta på en tom LR och kör sedan ut på trakten. Skotaren kör sedan tills den fyllt hela LR och därefter kör den tillbaka till avlägget. Vid avlägget ställer skotaren av LR och lastar sedan på en ny tom LR för en ny tur ut på trakten. De fyllda LR ställs upp i rader vid avlägget. Ifall skotaren inte har tomma LR att lasta på så kör den en tur med lösskotning istället. Skotaren upprepar detta så länge det finns virke på den aktuella trakten. När inget virke finns kvar kör skotaren till nästa avlägg och påbörjar skotningen där.

Lastbilens arbete fungerar på samma sätt som beskrivet i 2.2.2. I fall material har skotats konventionellt genom lösskotning då det inte funnits tomma LR att tillgå så kommer senare en timmerbil till avlägget och kranlastar på virket. När timmerbilen är fullastad eller det inte finns något virke kvar kör den till en mottagande industri där virket sedan lastas av med hjälp utav en terminalkran. Lastbilen upprepar detta så länge det finns virke att hämta ute vid avlägget. Simuleringen av modellen tar slut när skotaren inte har något kvar att skota på det tionde avlägget och den har förflyttat sig till ett fiktivt elfte avlägg. Dessutom ska LR-lastbilen och timmerbilen också ha levererat allt virke till industrin.



Figur 6, Schematisk bild över flödet för det mixade scenariot.

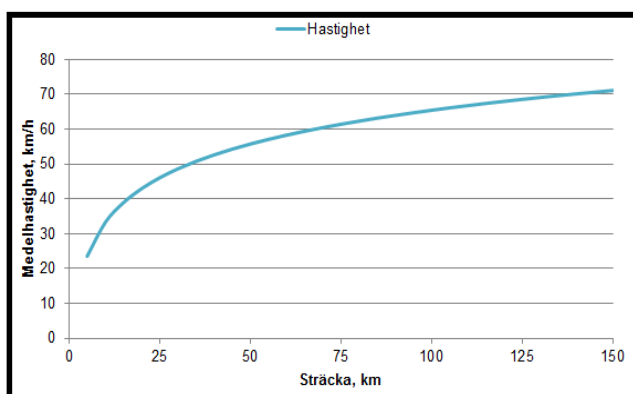


## 2.3 Indata

Indata som beskriver processtider är hämtade ifrån tidigare studier av det tänkta systemet eller liknande system. Ibland har uppskattningar gjorts av personer väl insatta i det tänkta systemet.

### Lastbilens och timmerbilens medelhastighet, (km/h)

Med utgångspunkt från Nurminens kurvor för medelhastigheter för fullastade respektive olastade lastbilar/timmerbilar har en egen funktion tagits fram (Figur 7) (Nurminen *et al.*, 2007). Den antogs gälla oavsett om bilen var lastad eller ej.



Figur 7, Medelhastigheten för timmerbil och lastbil (km/h) beroende på köravstånd

### Tid vid Industri

Tiden på industrin för att lossa ett ekipage sätts i modellen via en triangulär sannolikhetsfunktion där ett minvärde, förväntad tid och maxtid anges. I simuleringen användes följande värden:

Mintid,	10min
Förväntad tid,	15min
Maxtid,	25min

Dessa tider gäller oberoende på om det är en lastbil med LR eller en timmerbil som kommer till industrin.

### Tid vid avlägg för att lasta timmerbil

60 min per vända

Tiden mäts ifrån ankomst till avlägg till dess att ekipaget är fullastat och påbörjar körningen till industrin. Tiden antas till att det tar ca 11-12 min att lasta en trave och i modellen antas det vara tre travar på varje timmerbil. Tillägg på ca 25min för övrig tid runt omkring avlägget (Asikainen, *et al.*, 2013).

### Skotartid (ett lass)

För att få fram tiden för att skota ett lass har en skotarnorm framtagna av Skogforsk används, ekvation 1 (Brunberg, 2004). Den bygger på empiriska studier av skotning och dess ingående parametrar beskrivs nedan (Tabell 1).

$$\begin{aligned} \text{Skotartid} &= \text{Ton/lass} * (\text{terminaltid} + \text{körtid}) \text{ där} & (1) \\ \text{terminaltid} &= ((5.7 + 0.86 * \text{volym} + 11.45 * \sqrt{\text{volym}}) / \text{volym}); \\ \text{körtid} &= (2 * \text{terrängtransportavstånd}) / (55 * 15); \end{aligned}$$

**Tabell 1,** Parameterbeskrivning till skotartid (ett lass)

Parameter	Enhet	Beskrivning
Terminaltid	Minuter(m)	Tiden för lastning på trakt och lossning av virke avlägg
Körtid	Minuter(m)	Tid där skotaren kör
Terrängtransportavstånd	Meter(m)	Medelavståndet till trakt ifrån avlägg
Volym	m <sup>3</sup> /ha	Volym virke på trakt per ha

I terminaltiden ingår avlastningen av virket vid avlägget, för skotningen med LR dras den tiden bort. Tiden som dragits bort antas vara 12 min per lass.

#### Avlastning av LR från skotare

4 min                      Från ankomst till avlägg till att LR är avlastad.

#### Lastning av LR på skotare

4 min                      Från att skotaren lastat av en full LR till att en tom LR är på och skotaren kör väg.

Både avlastningen och pålastningen är osäkra parametrar men vi antar i modellen att det alltid går bra och det tar den tid som angetts.

#### Lastning av LR på lastbils ekipage

Tiden mäts ifrån avslutad avlastning av tomma LR eller från ankomst till avlägg tills ekipaget är fullastat och påbörjar körningen till industrin. Lastbilen antas ha god plats på avlägget och att LR står uppradade bra. Modellen använder sig av en triangulär sannolikhetsfunktion med min, förväntat och maxvärde enligt följande:

Min tid,                      10min  
Förväntad tid,            15min  
Maxtid,                      25min

#### Avlastning av tomma LR från lastbils ekipage.

Tiden mäts ifrån ankomst till avlägg tills ekipaget har ställt upp alla tomma LR  
Modellen använder sig av en triangulär sannolikhetsfunktion med följande värden:

Min tid,                      8min  
Förväntad tid,            12 min  
Maxtid,                      15 min

## Skotarflytt och lastbilskörning mellan avlägg

I modellen har inget avstånd mellan trakterna definierats utan tiden för skotaren och lastbilen att förflyttas mellan trakterna har i stället satts eftersom tiden är det som är intressant för modellen. Hur skotaren tar sig mellan trakterna, för egen maskin eller på trailer, har inte definierats utan det är tiden som är intressant.

Skotarflytten mellan trakterna har i modellen antagits vara:

2h

och körningen för lastbilen med LR:

0,5h

## 2.4 Försöksdesign

För att identifiera möjlig potential togs en försöksdesign fram där en rad ingående faktorer varierades i ett faktorförsök. Dessa faktorer var kopplade till olika karaktärsdrag hos de tänkta trakterna samt till val till av maskinsystem.

**Tabell 2,** Modelfaktorer i försöksdesignen

Avstånd från industri till avlägg (km)	20	50	75	100	150	200
Terrängtransportavstånd (m)	100	300	500			
Storlek på trakt (ha)	1	5	15			
Hur mycket virke finns på trakt (m <sup>3</sup> /ha)	225	315	405			
Tot. Antal LR i modellen (st)	6	9	12			
Antalet Lastbilar i modellen (st)	1	2	3			

För varje simulering väljs ett värde för respektive faktor ut ur tabellen och alla möjliga kombinationer utvärderas. Antalet LR beror på hur många Lastbilar som används och hur många som finns vid första avlägget. Varje lastbil har alltid tre stycken LR och då tre Lastbilar används kan inte nio stycken LR ställas vid det första avlägget på grund av att då blir det en överkapacitet på de minsta trakterna och modellen kan inte köras i programmet. Antalet lastbilar avser de lastbilar som kör LR. Antalet timmerbilar är alltid ett i simuleringarna.

Då viss indata ges av sannolikhetsfördelningar som styrs via en slumpgenerator måste experimentet upprepas. Antalet upprepningar var 5 och ett medelvärde från dem beräknades för all utdata.

## 2.5 Validering av modellen

Validering av en modell behandlar frågor som huruvida modell logiken byggts rätt, att rimliga indata används samt att modellen ger realistiska resultat utifrån hur logiken och indata är satta.

I modellering är det första steget att observera systemet och studera hur logiken fungerar. Därefter diskuteras tänkt modell med folk som är bekanta med den. Nästa steg är att bygga flödesscheman över systemet samt implementera dessa i ExtendSim. Tredje steget är en jämförelse mellan flödesschemat och den uppbyggda modellen (Krahl, 2013; Banks *et al.*, 2010). Jämförelsen sker visuellt och flöden i modellen har följts vid testsimuleringar. Specifika objekt följdes inom modellen och utdata kontrollerades för att säkerställa korrekt logik. Vid testsimuleringarna upptäcktes många

buggar i modellen och logiken fick byggas om helt och hållet. Efter ombyggnationen utförs sedan nya testsimuleringar.

Mycket indata hämtades ifrån tidigare utförda studier på det tänkta systemet eller på liknande system och har därför antagits vara rimliga. Då LR-systemet inte har testats i större skala saknas det underlag för prestationstider till exempel för av och på lastning av LR. Rimligheten för osäkra parametrar har diskuterats med Timmerbil/Lastbilsförare, som har en uppfattning på vad som kan vara möjligt (Andersson, 2016).

Modellen ansågs rimlig utifrån körda testsimuleringar och den gjorda valideringen.

## 4 Resultat

Antalet olika kombinationer av varierbara modellparametrar uppgår till ca 1100, så därför har ett urval av resultaten sammanställts här. Alla kombinationer ifrån tabell 1 har simulerats för de tre olika scenarion. För att kunna göra en jämförelse mellan de olika scenariona har fokus varit på den totala maskintiden. För simuleringarna för LR-systemet har väntetiderna för maskinerna varit en viktig ut parameter för att kunna se om systemet varit effektivt.

Redovisningen av resultaten börjar med att visa vilka parametrar som påverkar LR-systemets effektivitet och sedan visas resultaten från en jämförelse mellan alla scenarion.

### 4.1 Påverkan av storleken på trakt och volym virke per ha i Scenario LR

Resultatet för simuleringarna med variation av volym virke på trakten och hur stor trakten är gav endast en mindre skillnad för den procentuella väntetiden för LR-lastbilen och skotaren (Tabell 3). Variation av virkesvolym och storlek på trakten presenteras därav inte i de följande resultaten.

**Tabell 3,** Resultat för simulering med variation på virkesvolym och trakt storlek. Avstånd 100km för lastbilen, terrängtransportavstånd 300 och sex LR. Tidsangivelsen är i timmar

Volym, m <sup>3</sup> /ha	Traktstorlek, ha	Tot. LR- Lastbilstid	Total skotartid	Väntetid	Tot. Maskin	Procentuell väntetid
225	1	207	193	38	400	10 %
225	5	977	923	224	1900	12 %
225	15	2903	2747	688	5650	12 %
315	1	284	266	63	550	12 %
315	5	1365	1290	352	2655	13 %
315	15	4059	3843	1067	7902	14 %
405	1	361	339	89	700	13 %
405	5	1750	1655	482	3405	14 %
405	15	5215	4938	1456	10154	14 %

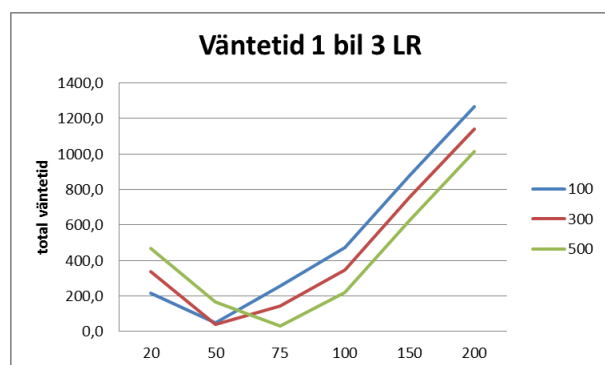
## 4.2 Påverkan av antalet LR och olika köravstånd. Scenario LR

Resultatet från simulering med variation på antalet LR och köravstånd för lastbilen visade att antalet LR inte ger någon skillnad i minskad total väntetid vid något köravstånd (Tabell 4). Dock framkom att den procentuella väntetid var som lägst vid 50-75km i köravstånd. Vid korta avstånd stod lastbilen för väntetiden medan vid längre avstånd fick skotaren väntetiden.

**Tabell 4**, Resultat för simulering med variation på startantal LR med en lastbil, terrängtransportavstånd 300m, 315 m<sup>3</sup>/ha och 5 ha

Antal LR	Köravstånd	Procentuell total väntetid	Procentuell väntetid lastbil	Procentuell väntetid skotare
3	20	18 %	18 %	0 %
6	20	18 %	18 %	0 %
9	20	18 %	18 %	0 %
3	50	2 %	2 %	0 %
6	50	2 %	2 %	0 %
9	50	2 %	2 %	0 %
3	75	6 %	0 %	6 %
6	75	6 %	0 %	6 %
9	75	6 %	0 %	6 %
3	100	13 %	0 %	13 %
6	100	13 %	0 %	13 %
9	100	13 %	0 %	13 %
3	150	22 %	0 %	22 %
6	150	22 %	0 %	22 %
9	150	22 %	0 %	22 %
3	200	27 %	0 %	27 %
6	200	27 %	0 %	27 %
9	200	27 %	0 %	27 %

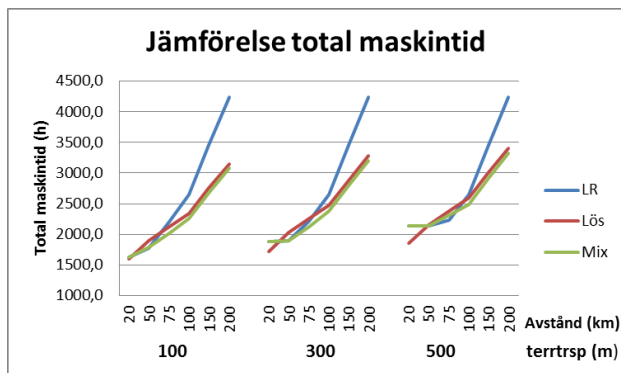
Väntetiden vid olika terrängtransportavstånd visas i figur 8 nedan. Vid ökande terrängtransportavstånd förskjuts kurvan för väntetiden mer mot ökande köravstånd.



*Figur 8, Total väntetid för simulering med en lastbil och tre LR vid tre olika terrängtransportavstånd(m).*

### 4.3 Jämförelse mellan scenario LR, Mix och Lösskotning

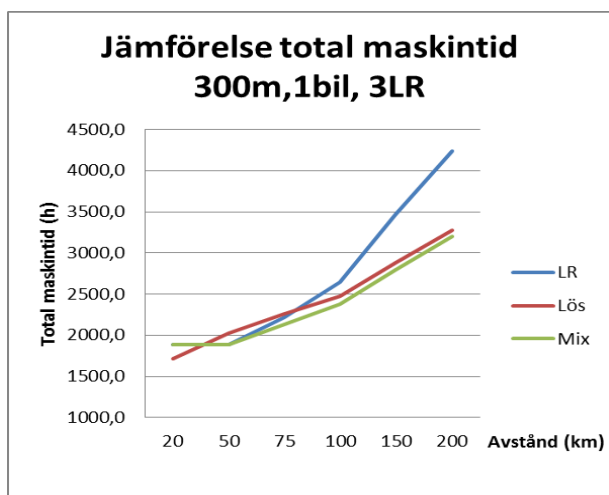
Vid nedanstående resultat har storleken på trakten varit 5 ha, volymen 315 m<sup>3</sup>/ha och 1 lastbil har studerats.



Figur 9, Jämförelse mellan scenario LR, Mix och Lösskotning. Total maskintid i timmar, terrtrsp = terrängtransportavstånd för skotaren och Avstånd = köravstånd för lastbil och timmerbil.

Resultaten från jämförelsen (figur 9) visar att användningen av LR ger något mindre total maskintid än det konventionella systemet vid köravståndet 50-100km. Det konventionella systemet är vid dessa simuleringar det mest effektiva vid 20km och det mixade systemet är det effektivaste vid resterande köravstånd. Detta visas också nedan i figur 10. I LR-systemet uppkommer en del väntetider. När avståndet för lastbilen är kort får bilen vänta på skotaren och när avståndet är långt får skotaren vänta på lastbilen.

Vid vissa simuleringar har LR-systemet varit snabbare än det konventionella. Beroende på vilket terrängtransportavstånd som simulerats har brytpunkterna varierat mellan 50 och 100km för lastbilen. Exempel på det visas i figur 10 och i tabell 5.

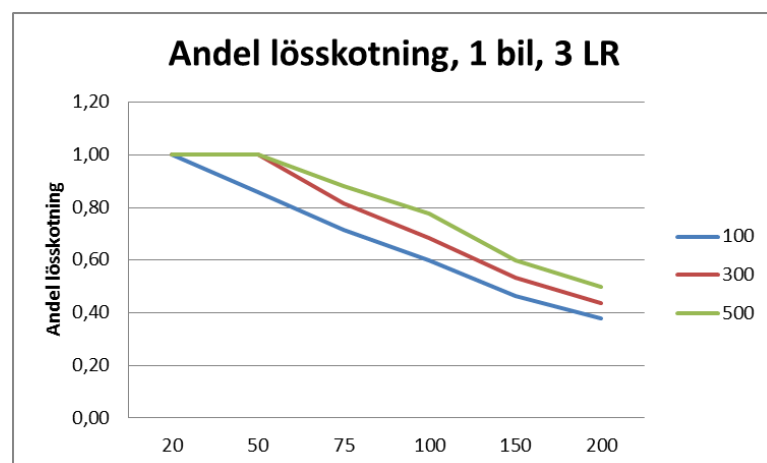


Figur 10, Jämförelse av total maskintid vid 300m terrängtransportavstånd.

**Tabell 5,** Procentuell tidsskillnad på den totala maskintiden

Terrtrsp (m)	Köravstånd	Procentuell skillnad LR vs Lös	Procentuell skillnad Mix vs Lös
100	20	- 2 %	-2 %
100	50	7 %	6 %
100	75	- 4 %	6 %
100	100	- 13 %	4 %
100	150	-25 %	3 %
100	200	-35 %	2 %
300	20	-10 %	-9 %
300	50	7 %	7 %
300	75	2 %	6 %
300	100	-7 %	4 %
300	150	-20 %	3 %
300	200	-29 %	2 %
500	20	-16 %	-14 %
500	50	1 %	1 %
500	75	6 %	3 %
500	100	-2 %	4 %
500	150	-15 %	3 %
500	200	-25 %	3 %

Andelen lösskotning i det mixade systemet beror på avståndet ifrån trakten till industrin (Figur 11). Vid ett kortare terrängtransportavstånd hinner skotaren fylla fler LR än vid längre avstånd vilket leder till att den vid fler tillfällen kommer köra lösskotning.



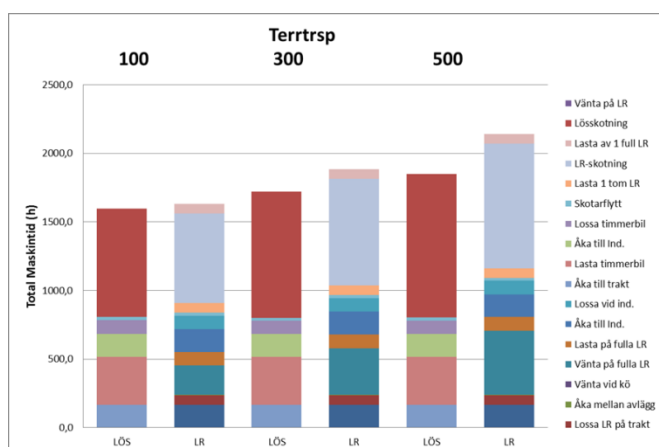
*Figur 11, Andel lösskotning beroende på avstånd och terrängtransportavstånd.*



#### 4.4 Resultat för simuleringar vid olika avstånd.

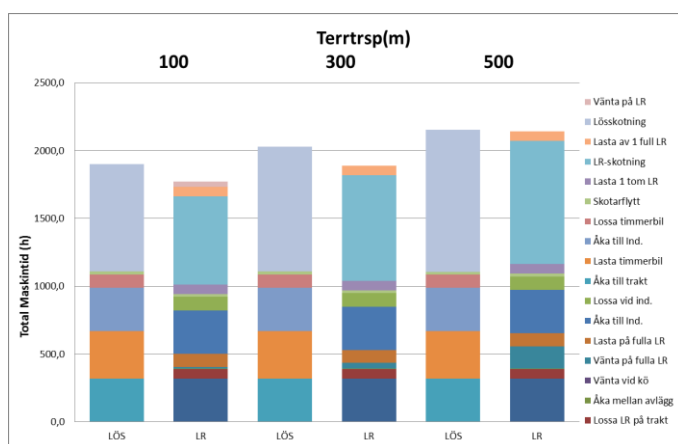
Följande figurer visar resultat från simuleringar där avståndet för lastbilen och antalet lastbilar har varierats. Följande resultat fokuserar på att jämföra ingående aktiviteter vid olika köravstånd för lastbilen och lösskotningsscenario som fungerar som referens. Det mixade systemet uteslöts ur denna resultatredovisning.

Vid 20 km köravstånd visas i figur 12 hur lång tid varje ingående aktivitet tar och här kan vi se att den stora skillnaden mellan LR och Lös är att lastbilen får vänta mer och mer på fulla LR (turkos i tabell 12). Möjlig vinst för LR-systemet försvann genom den väntetiden vilket resulterade i en högre total maskintid vid samtliga terrängtransportavstånd.



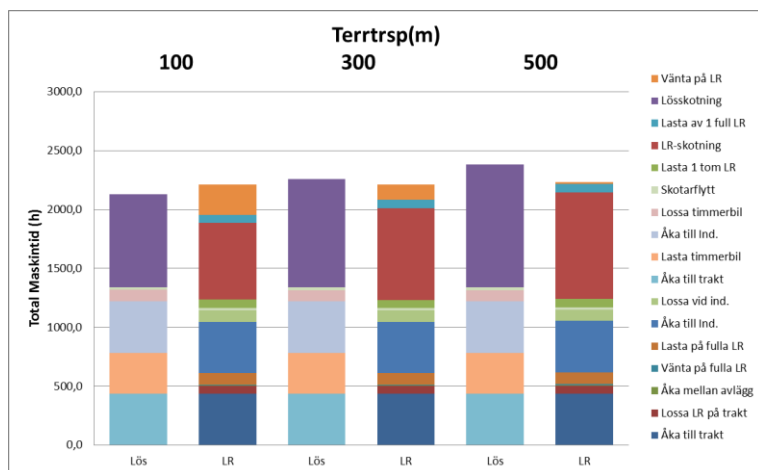
Figur 12, Jämförelse mellan scenario lösskotning och LR-systemet vid olika terrängtransportavstånd (terrtrsp) med 1 lastbil och 3 LR vid köravstånd 20km från industrin för lastbilen.

Efter en ökning av köravståndet till 50 km (figur 13) jämfördes lös och LR-systemet och där visade det sig att både vid 100 och 300m terrängtransportavstånd hade LR-systemet nästan inga väntetider och fungerade då effektivare än lösskotningen. Vid samtliga terrängtransportavstånd gav LR-systemet en tidsvinst jämfört med lösskotningen.



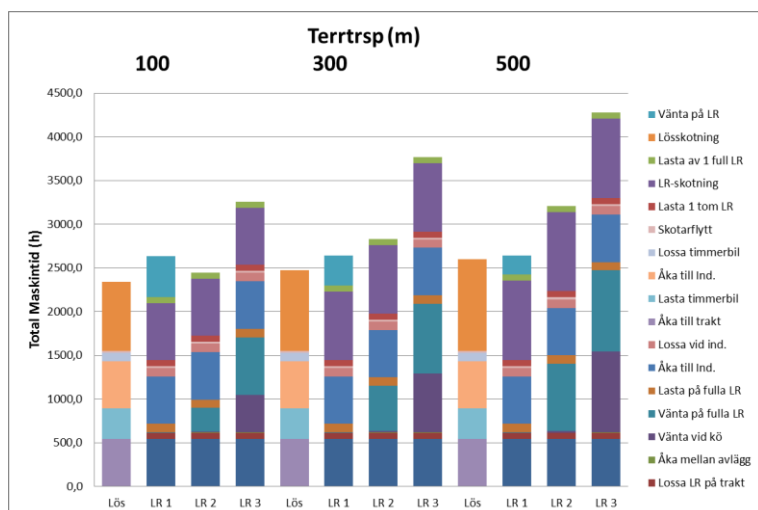
Figur 13, Jämförelse mellan scenario lösskotning och LR-systemet vid olika terrängtransportavstånd (terrtrsp) med 1 lastbil och 3 LR vid köravstånd 50km från industrin för lastbilen.

Efter en ökning av köravståndet till 75km så visas i figur 14 en jämförelse mellan LR och Lös vid olika terrängtransportavstånd. Vid 100m har skotaren för LR väntetid för tomma LR. Den minskar vid längre terrängtransportavstånd. Vilket gör att LR-systemet är effektivare vid 300 och 500m terrängtransportavstånd.



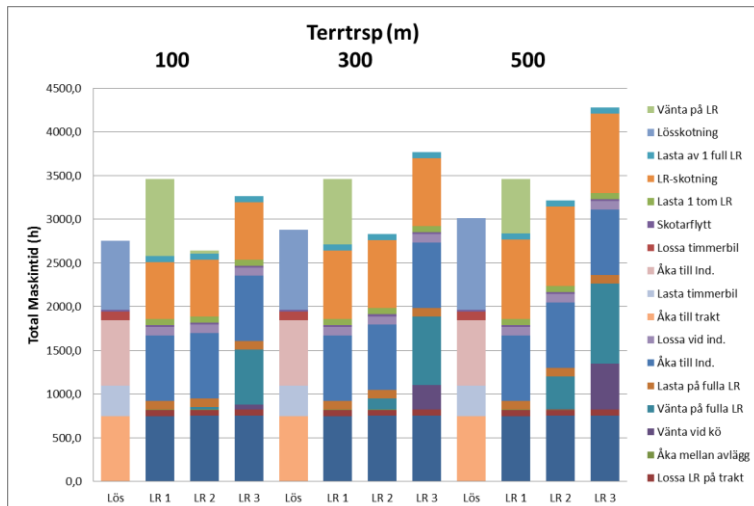
Figur 14, Jämförelse mellan scenario lösskotning och LR-systemet vid olika terrängtransportavstånd med 1 lastbil och 3 LR vid köravstånd 75km från industrin för lastbilen.

Efter en ökning av köravståndet till 100 km visas i figur 15 en jämförelse mellan LR och Lös vid olika terrängtransportavstånd och med olika antalet lastbilar. Vid 100km och en lastbil får skotaren vänta på tomma LR men vid insättning av fler lastbilar får istället lastbilarna vänta på fulla LR och på varandra vid avlägget.



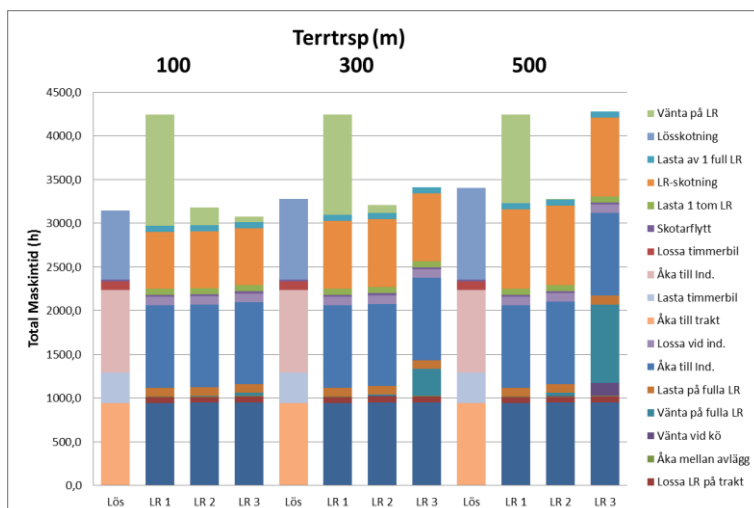
Figur 15, Jämförelse mellan scenario lösskotning och LR-systemet vid olika terrängtransportavstånd (terrtrsp) med 1-3 lastbilar och 3 LR vid köravstånd 100km från industrin för lastbilarna.

Efter en ökning av köravståndet till 150 km visas i figur 16 en jämförelse mellan LR och Lös vid olika terrängtransportavstånd och med olika antalet lastbilar. Då köravståndet för lastbilarna är 150 km börjar väntetiden på tomma LR bli en större del av den totala maskintiden för en lastbil. Med två lastbilar uppkom nästan inga väntetider alls och har vid 100m och 300m terrängtransportavstånd en lägre total maskintid än lös scenariot. En insättning av en tredje lastbil skapades väntetider på fulla LR och väntetid i kön vid avlägget (lila i figur 16).



Figur 16, Jämförelse mellan scenario lösskotning och LR-systemet vid olika terrängtransportavstånd med 1-3 lastbilar och 3 LR vid köravstånd 150km från industrin för lastbilarna.

Efter en ökning av köravståndet till 200 km visas i figur 17 visas en jämförelse mellan LR och Lös vid olika terrängtransportavstånd och med olika antalet lastbilar. Då köravståndet för lastbilarna är 200 km är väntetiden på tomma LR nu en ännu större del av den totala maskintiden för en lastbil. Med två lastbilar uppkommer det nästan inga väntetider alls och har vid 300m och 500m terrängtransportavstånd en lägre total maskintid än lös scenariot. Efter en insättning av en tredje lastbil skapades nästan inga väntetider vid 100m terrängtransportavstånd och har där en lägre total maskintid än lös scenariot. Vid längre terrängtrasportavstånd får lastbilarna vänta mer på fulla LR och vänta på varandra i kön vid avlägget.



Figur 17, Jämförelse mellan scenario lösskotning och LR-systemet vid olika terrängtransportavstånd med 1-3 lastbilar och 3 LR vid köravstånd 200km från industrin för lastbilarna.

## 5 Diskussion

Resultaten av simuleringarna visade, i jämförelse med lösskotningssystemet, att det finns en potential för en tidsvinst vid användningen av LR. Där det fanns tidsvinster låg lastbilens köravstånd i intervallet mellan 50-100km med ett terrängtransportavstånd på 300m. Tidsvinsten på den totala maskintiden var som mest runt 7 % i detta intervall.

I simuleringarna varierades antalet LR men det gav ingen påverkan alls på effektiviteten. Troligen på grund av att det blev fler flyttar utav Lastredena mellan trakterna och att vid det första avlägget skapades väntetid för lastbilen istället. En förbättringspotential för modellen vore att en startfördröjning av lastbilen läggs in.

I teorin finns det tidsvinster att hämta i LR-systemet. I vissa moment är det tänkt att LR ska kunna vara snabbare. Till exempel vid lastning och lossning av virket. Men detta handlar endast om ett par minuter per lass och i det simulerade systemet var detta en liten del utav den totala tiden. Dessutom har det i modellen antagits att bytet av LR sker utan större missöden och det sker på avlägg där det är gynnsamma förhållanden. Då de tidigare fältförsöken har visat att det finns problem på många avlägg kan denna lilla tidsvinst vara ännu mindre om än någon vinst överhuvudtaget. Dock gäller detta nu, och med mer teknikutveckling kan LR-bytet snabbas på ytterligare och därmed ge en potential för en större tidsvinst.

Det stora problemet i LR-systemet är timingen, mellan att lastbilen skulle hinna leverera LR till skotaren och att lastbilen hinner köra en vända till industrin. Från resultaten ifrån simuleringarna har det visats sig att, när avståndet var mellan 50-100 km och skotarens terrängtransportavstånd var 300m, så förekommer det små väntetider vilket gjorde att det där fanns en potential. Om någon aktivitet i systemet går snabbare att utföra än vad som simulerats kan den punkten med små väntetider flyttas.

Modellen för LR-systemet kan användas för att få fram vilka avstånd som ger den minsta möjliga väntetiderna givet vissa förutsättningar. Modellen kör i nuläget kontinuerligt och tar inte hänsyn till några pauser. Det kan vara något att försöka få in i modellen då timingen mellan lastbil och skotare kan påverkas. Det kan ge fler fall då timingen stämmer bättre överens.

För att minska ner väntetiderna vid olika avstånd kan antalet ingående maskiner varieras. Till exempel så kan fler skotare sättas in vid kortare avstånd och fler lastbilar vid längre avstånd. Att det blev mindre väntetider då fler lastbilar sattes in vid längre köravstånd visas tydligt i figur 16 och 17. Då modellen i dagens utförande inte kan hantera fler skotare behövs en vidareutveckling göras av modellen på denna punkt.

Då flyttarna av LR utgör maskintid, som inte är produktiv, var teorin att potentialen för LR skulle vara större då trakterna var stora, eftersom skotaren då befinner sig längre tid på samma ställe. Dock visades i denna modell att det inte blev någon större skillnad i systemet när storleken varierades, se tabell 3. Det beror på att flyttarna tog kort tid jämfört med den totala maskintiden. I verkligheten så kommer det ändå vara en fördel med att slippa byta trakter för ofta, då LR kräver väl preparerade avlägg och avläggen behöver då göras i ordning för att LR-systemet ska fungera bra.

LR-systemet kan även jämföras med ett containersystem som används vid flisning av salix eller grot, som även det tillhör kategorin "Heta-system". På samma sätt behöver flishuggen tomma containrar som skotaren behöver tomma LR och att lastbilar måste leverera dessa i rätt tid. Lärdomar från det systemet kan användas vid utformning av ett LR-system i verkligheten.

För fortsatta studier av LR-systemet föreslås en undersökning av att variera antalet trakter och avståndet mellan trakterna. Då blir det en annan balans i systemet och liknar mer ett verkligt scenario där ingen trakt ser lika ut. En annan aspekt att undersöka kan vara att använda fler skotare som en eller flera lastbilar kan underhålla med tomma LR. Sen finns det fler varianter på hur de tomma LR ska fraktas mellan trakterna. Till exempel antog Asikainen att skotaren förflyttade tomma LR till nästa trakt medan i denna studie körde lastbilen dessa mellan trakterna. Ett alternativ kan också vara att låta både lastbilen och skotaren kunna förflytta de tomma LR beroende på vilken av maskinerna som är redo först att köra till nästa trakt.

Vid jämförelsen mellan de tre scenarierna så framkom det att det mixade systemet var det mest effektiva. Detta på grund av att väntetiderna som uppkom för LR-systemet nästan helt eliminerades och tillsammans med den lilla tidsvinsten för att köra med LR gjorde att det mixade systemet var det mest tidseffektiva systemet. Förutom vid korta avstånd då det mixade systemet följde LR-systemets kurva, *se i figur 11*. Vid 20km var det konventionella effektivare än LR-systemet. Men vid längre avstånd övergick skotaren mer och mer på att köra lösskotning. Det gjorde att skotaren slapp vänta på lastbilen. Det mixade systemet blir ett mindre hett system jämfört med LR-systemet. Simuleringen visade att det mixade systemet kunde minska den totala maskintiden med 3-6 % jämfört med dagens system vid ett köravstånd mellan 50-200 km (tabell 5).

Tekniken för det mixade systemet har dock inte testats i fält utan det är tänkt att använda en konventionell skotare som en LR får plats i på flaket.

## 6 Slutsatser

- Lastredessystemet ger vid vissa simuleringar en tidsvinst jämfört med det konventionella systemet.
- Lastredessystemet, med en lastbil, fungerar mest effektivt när lastbilens avstånd mellan avlägg och industrin är i intervallet 50-75 km. Vid längre avstånd krävs fler lastbilar.
- Simulering med två lastbilar vid köravstånden 150-200 km ger LR-systemet en minskad total väntetid jämfört med en lastbil. Vid några terrängtransportavstånd är det bättre än det konventionella systemet.
- Användningen av fler LR ger en mycket liten skillnad.
- Terrängtransportavståndet och köravståndet ger en stor påverkan på LR-systemet
- Ett mixat system gör att väntetiderna försvinner i stort sett helt och är i nästan alla simuleringar det mest effektiva systemet.

## 7 Referenser

- Andersson, J. Timmerbilsförare/lastbilsförare, telefonsamtal (2016)
- Asikainen, A. & Tolvanen-Sikanen, T. (1995). Applicability of an Interchangeable Platform Truck for Timber Transport in Finland, *Journal of Forest Engineering*, vol.6 (2), 7-16.
- Banks, J., Carson, J., Nelson, B. & Nicol, D. (2010). *Discrete-event system simulation: Upper Saddle River, N.J. : Pearson Education.*
- Brunberg T, (2004). Underlag till produktionsnormer för skotare, Skogforsk, Redogörelse nr 3.
- Freitag, B & Warkotsch, W. (2012) - Application of flats (swop bodies) for extraction (forwarding) and transport, Munchen tekniska Universitet.
- Krahl, D. ExtendSim 9. In: *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference: Simulation: Making Decisions in a Complex World* 2013: IEEE Press, pp. 4065-4072.
- Nurminen, T. & Heinonen, J. (2007) - Characteristics and time consumption of timber trucking in Finland. *Silva Fennica* 41(3): 471–487.
- Nurminen, T., Korpunen, H. & Uusitalo, J. (2006) - Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica* 40(2): 335–363.
- Pålsson, H. (2015) - Potential för drivning och vägtransport av rundvirke med drivare, enhetslastbärare och terminalsortering. SLU, Inst. skogliga biomaterial och teknologi, Arbetsrapport 18.



SLU  
Institutionen för energi och teknik  
Box 7032  
750 07 UPPSALA  
Tel. 018-67 10 00  
pdf.fil: [www.slu.se/energioghteknik](http://www.slu.se/energioghteknik)

SLU  
Department of Energy and Technology  
P. O. Box 7032  
SE-750 07 UPPSALA  
SWEDEN  
Phone +46 18 671000